



수치해석을 활용한 가스차단문의 폭발압력저항 성능평가

신배근·김지유*·[†]김의수**

한국교통대학교 안전공학과 학사과정, *한국교통대학교 안전공학과 석사과정,

**한국교통대학교 안전공학과 교수

(2022년 1월 4일 접수, 2022년 2월 4일 수정, 2022년 2월 5일 채택)

Performance Evaluation on Blast-resistant of Gastight Door using Numerical Simulation

Baegeun Shin · Jiyu Kim · [†]Euisoo Kim

Department of Safety Engineering, Korea National University of Transportation

(Received January 4, 2022; Revised February 4, 2022; Accepted February 5, 2022)

요약

가스 취급 및 저장시설의 확충과 더불어 폭발의 규모가 다양해짐에 따라 사고를 대비한 방폭 설비 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 방폭 인증시험 대상 설비 중 하나인 가스차단문은 폭발파나 내부 화재로 인한 팽창압력을 차단하는 동시에 내부의 인원과 장비를 보호하는 역할을 한다. 현재 사용되는 가스차단문은 방폭성능 인증시험 대상 설비임에도 방폭 설계 관련 규정이 명확히 제시되지 않고 있으며 해당 설비의 폭발압력저항성능평가에 관한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 미국재료시험협회(ASTM)에서 제시하는 가스차단문 규격에 관한 규정(ASTM F-1069-87, F-1068-90)을 참고하여 가스차단문을 3D 형상으로 모델링하고 ANSYS Explicit Dynamics 해석을 통해 기준 대비 가스차단문의 영구적 변형량을 비교하였다. 또한, 방폭 설비 관련 연구에서 사용되고 있는 회전연성도·변위연성도 계산을 통한 방폭성능 평가 방법을 함께 고려하여 가스차단문의 수치해석적 폭발압력저항성능평가를 수행하였다.

Abstract - As the scale of explosions diversifies along with the expansion of gas handling and storage facilities, studies on explosion-proof facilities in preparation for accidents is being actively conducted. The gastight door blocks the expansion pressure caused by blast waves or internal fires, and at the same time protects the personnel and equipment inside. For gastight doors, the regulations related to explosion-proof design are not clearly presented, and studies on the explosion pressure resistance performance evaluation of the facility are insufficient. In this study, the gastight door was modeled in a 3D shape with reference to the regulation ASTM regarding the gastight door standard. Afterwards, evaluation for blast-resistant performance of gastight door using Numerical simulation was evaluated by using ANSYS Explicit Dynamics to compare the deformation.

Key words : gastight door, blast-resistant, displacement ductility ratio, rotational ductility ratio, ANSYS

1. 서론

가스 취급 및 저장시설의 확충과 더불어 폭발의 규모가 다양해지고 있다. 이에 근접 폭발로부터 재난을 방지하고 특수시설을 방호하기 위하여 제작되는 방폭

설비에 관한 실증시험과 연구가 활발하게 이루어지고 있으며 세계 각국의 방폭 관련 설비의 인증시험 수요 또한 증가하는 추세이다. 국내의 경우 2013년부터 국내 생산 방호제품에 대한 방폭 성능 인증시험이 가능해지면서 본격적으로 방폭 관련 산업 분야가 활성화되었고, 국가 시설을 중점으로 방폭 설계가 이루어졌던 것과는 다르게 현재 대부분의 구조물에 최소한의 방폭 설계가 적용되도록 하고 있다[1]. 국가시설의

[†]Corresponding author: es92kim@ut.ac.kr

Copyright © 2022 by The Korean Institute of Gas

화생방 방호설비인 가스차단문은 건물 내부 출입문으로 오염 공기 유입차단 및 오염통계구역의 각 격실간에 양압을 형성하여 기밀을 유지하고 폭풍파나 내부 화재로 인한 팽창압력을 차단하는 역할을 하는 동시에 내부의 인원과 장비를 보호한다. 이에 따라 방폭설비 관련 공인인증기관에서는 가스차단문 또한 방폭문과 같이 폭발압력저항성능평가를 통해 합격 기준에 만족하는 최소한의 방폭 설계를 갖추 것을 요구하고 있다. 현재 국내에서는 해외 인증시험에 소비되는 막대한 시간과 비용을 절감할 수 있게 되었고 해외에 제품시험 의뢰 시 발생 가능한 신기술 유출에 대한 우려가 해소되었으나 여전히 인증시험에 들어가는 시간과 비용이 적지 않은 실정이다. 이와 관련하여 방폭문의 경우에는 실증시험과 인증시험에 대한 부담을 덜기 위해 수치해석을 활용한 평가를 통해 해당 설비의 구조 안전성 및 방폭 성능을 검토하는 관련 연구들이 활발하게 이루어지고 있다[2]. Shim et al.은 ANSYS Autodyn을 사용하여 폭발 실증시험의 반사압력을 산정하고 ANSYS Explicit Dynamic을 사용하여 동적 최대변위를 계산하여 방폭문의 성능을 평가하였다[3]. Park et al.은 LS-DYNA를 사용하여 강제패널에 대한 수치해석 및 설계 모델을 제안하였고, 또한 Shin et al.은 복합적인 지지 조건에 따른 방폭문의 구조 응답 및 파괴 거동의 변화를 LS-DYNA를 사용하여 분석하였다[4-5]. 이와 같은 연구들은 수치해석을 활용하여 폭발 하중을 받는 문의 방폭 성능을 확인하고, 평가하는 방법들을 제시하고 있다. 하지만 가스차단문의 주 사용 용도와 설치 위치를 고려해보았을 때 상대적으로 폭발압력저항성능에 관한 중요도가 낮아 해당 설비는 선행연구가 매우 미비한 실정이다[6]. 이에 본 연구에서는 ANSYS Explicit Dynamics 해석을 통해 가스차단문의 폭발압력저항성능평가 기준 대비 가스차단문의 영구적 변형량을 비교하고, 회전연성도·변위연성도와 관련된 국방시설 기준을 함께 고려하여 가스차단문의 수치해석적 폭발압력저항성능평가 및 분석을 진행하고자 한다.

II. 폭발압력저항성능평가

2.1. 폭발압력저항성능평가 개요

파열판을 이용한 폭풍파(Blast)를 형성하여 가스차단문의 방폭 성능을 평가하는 폭발압력저항 시험 설비의 구성도를 Fig. 1에 나타내었다.

설비는 위와 같이 고압실(High pressure chamber), 팽창실(Expansion chamber), 충격실(Shock chamber) 3부분으로 구성되며 가스차단문은 팽창실과 충격실 사이에 설치된다. 고압실 내부는 압축공기 혹은 질소

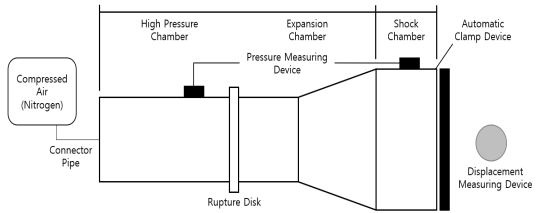


Fig. 1. Blast pressure resisting test equipment.

Table 1. Blast pressure Resisting Test-Related Criteria

| Gastight Door | Conditions | | | Acceptance Criteria |
|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | Incident Pressure | Reflected Pressure | Positive phase Duration | Permanent Deformation |
| | $P_a \geq 0.3\text{bar}$ | $P_b \geq 1.1\text{bar}$ | $t \geq 20\text{ms}$ | $X_m \leq \pm 2\text{mm}$ |

가스로 채워지고 고압실 내부가 일정 한계 압력을 넘어서면 파열판(Rupture disk)이 자동으로 파괴되며 이때 발생한 충격파가 충격실에 설치된 가스차단문의 전면부로 전달된다.

가스차단문의 폭발압력저항성능을 평가하기 위한 시험의 조건과 합격 기준을 Table 1에 나타냈다. 입사압(Incident pressure)은 폭풍파의 초기에 전달되는 압력이며 반사압(Reflected pressure)은 폭풍파가 구조물을 만나 생기는 증폭된 세기의 압력을 말한다. 가스차단문에 가해지는 최고 압력(Peak pressure)은 폭발압력저항 시험 설비의 파열판에서 발생한 압력이 가스차단문의 전면부에 작용하는 압력 중 가장 높은 압력을 말한다. 보수적인 설계를 위해 폭발 하중의 압력은 입사압과 반사압의 합으로 계산하였으며 본 시험의 경우 최고압력은 $1.4\text{bar}(= P_a + P_b)$ 이상의 값으로 해석에 적용한다. 압력 지속시간(Positive phase duration)은 폭발압력이 최고압력에 도달한 이후부터 압력이 0이 될 때까지의 시간을 밀리세컨드(ms) 단위로 측정된 값을 말한다. 앞서 말한 내용에 대한 충격파의 특징을 그래프의 형태로 Fig. 2에 나타내었다. 정압(Positive impulse)은 압력이 $t_a \sim t_b$ 의 시간 동안 점차 낮아지면서 소멸할 때까지 가스차단문의 전면부에 작용한 압력의 합이며, 이후로는 일시적으로 압력이 대기압보다 낮아지는 현상이 발생하는데 이를 부압(Negative pressure)이라고 한다.

부압은 상대적으로 정압에 비하여 영향을 거의 주

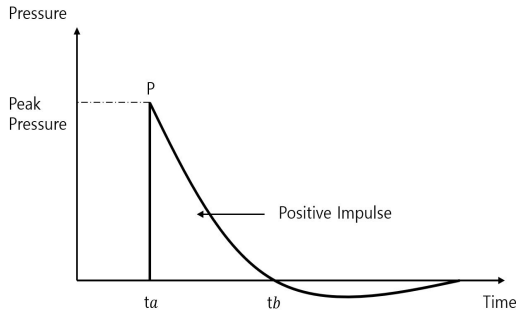


Fig. 2. Blast pressure characteristic.

지 않기 때문에 보수적인 설계를 위해 일반적으로 부압은 무시하고 정압만을 고려하여 방폭 설계를 진행한다[7]. Table 1에 나타난 합격 기준의 영구적 변형량은 위와 같은 특징을 가지는 폭발압력을 전면부에 가한 후 발생하는 가스차단문의 변형량을 의미한다.

2.2. 폭발압력저항성능평가를 위한 지표

본 연구에서는 앞서 말한 기준의 영구적 변형량 비교를 통한 평가 방법 이외에 방폭 설비 국방시설 기준으로 사용되고 있으며 관련 연구에서도 폭발압력저항성능평가를 위한 지표로 자주 사용되고 있는 회전연성도·변위연성도 계산을 통한 평가 방법을 함께 고려하여 가스차단문의 수치해석적 폭발압력저항성능평가를 수행하였다. 방폭 설비는 구조체의 안전성도 중요하나 내부의 인원과 장비를 어느 정도로 보호할 것인가에 대한 목표에 맞게 방폭 성능을 갖추는 것이 중요하다. 이에 따라 구조물의 손상 여부를 포함하여 포괄적인 방호 수준을 고려하고, 높은 수준의 손상이 허용되는지의 여부 등도 충분히 고려해야 한다[8]. Table 2에 이와 관련한 방호구조물의 방폭 성능 관련 국방시설 기준을 나타내었으며 이는 폭발압력에 노출될 위험성이 있는 구조체의 방폭성능을 평가하기 위한 기준(Performance Criteria)으로 사용되고 있다 [9]. 각 단계의 방호수준은 회전연성도(Rotational ductility ratio)와 변위연성도(Displacement ductility ratio)를 통해 범위로 구분되어 있다. 탄성(Elastic) 설계는 방호 수준이 가장 우수하여 구조물의 최대 피해 정도가 미세균열 발생에 그치며, 탄·소성(Elastic-Plastic) 설계는 균열 또는 파쇄 발생, 소성(Plastic) 설계는 구조물의 손상 정도가 심각한 수준으로 내부의 인원과 장비에 대한 최소한의 생존성을 보장할 수 있도록 설계하는 것을 말한다[10].

Table 2. Deformation limit criteria of structure

| Design | Rotational ductility ratio(°) | Displacement ductility ratio |
|-----------------|-------------------------------|------------------------------|
| Elastic | $0 < \theta < 2$ | $0 < \mu < 1$ |
| Elastic-Plastic | $2 < \theta < 5$ | $1 < \mu < 3$ |
| Plastic | $5 < \theta < 12$ | $3 < \mu < 10$ |

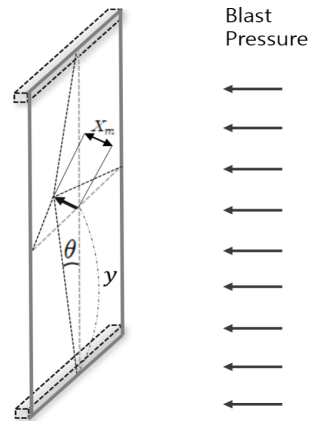


Fig. 3. Deformation prediction diagram of gastight door.

회전연성도(Rotational ductility ratio, θ)는 폭발 하중으로 인해 가스차단문에 소성변형이 발생할 시 최대 변형량의 발생 지점과 지지부에 대한 최대 회전각도(θ)를 말하며 식(1)과 같이 정의된다. 변위연성도(Displacement ductility ratio)는 폭발 하중을 받는 가스차단문의 일시적 최대변위(X_m)와 등가 탄성 변위(X_e)의 비로 계산되며 식(2)와 같이 정의된다. 등가 탄성 변위(X_e)는 구조물에 발생하는 최대응력이 재료의 항복응력에 도달했을 시의 변형량을 확인하여 구할 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1}(X_m/y) \tag{1}$$

$$\mu = X_m/X_e \tag{2}$$

X : permanent deformation

X_m : maximum displacement

X_e : maximum elastic displacement

III. 수치해석 및 평가

3.1. 해석모델 설정

국내의 경우 가스차단문 설계 관련 규정에 대해서 고압가스법상 강철 문의 경우, 6mm 이상으로 규정되어 제작되고 있는 것을 제외하고는 명확히 제시된 바가 없으며, 국방부 화생방 방호설비 성능·인증시험 방법서(2017)에 따른 가스차단문의 시험 및 합격 기준에 관한 내용만 명시되어 있다. 이에 본 연구에서는 미국재료시험협회(ASTM)에서 제시하는 가스차단문 관련 규정(ASTM F-1069-87, F-1068-90)을 참고하여 해석모델의 규격 및 재료를 결정하였다. 해석모델은 한 면의 두께가 6.35mm인 철판으로 이루어진 직육면체의 형상이며 내부는 비어있도록 보강재 없이 생성하였다. 가스차단문의 종류는 일반적인 편개형 가스차단문(Single swing type gastight door)을 대상으로 하였으며 각 면에 Midsurface 기능을 사용하여 각 면에 Shell을 형성함으로써 짧은 시간 내에서 이루어지는 폭발압력에 대한 해석의 정확도 향상과 시간 단축이 가능하도록 하였다. 해석모델은 Fig. 4와 같다.

3.2. 해석조건 및 경계조건

가스차단문의 기계적 물성은 마찬가지로 미국재료시험협회에서 가스차단문의 재료로 사용할 것을 제시하고 있는 A 36·A 36M과 A131·A131M 중 일반적으로 많이 사용되고 있는 철판(A 36 : Carbon structure steel)의 재료 물성 데이터를 적용하였다. 이에 관한 값을 Table 3에 나타내었으며 온도에 따른 밀도와 탄성계수의 변화 값은 Fig. 5와 같다.

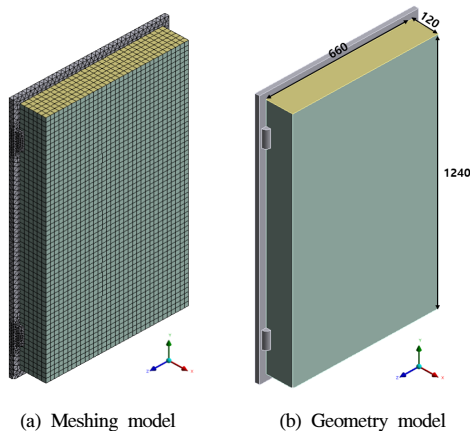


Fig. 4. 3D model of Gastight door.

시험 인증기관에서의 폭발압력저항성능평가 시 가스차단문의 문틀은 시험 설비 구조체에 용접되어 움직일 수 없도록 고정된 상태에서 폭발압력저항성능평가를 수행하므로 이를 모사하기 위해 해석모델의 구속조건을 Fig. 6에 나타낸 것과 같이 설정하였다. 후면 철판 끝 4변의 x, y, z 방향 이동은 Fixed Support로 완전히 구속하였으며 압력 조건으로는 화

생방 방호설비 성능·인증시험 방법서(2017)에 따라 최고 압력이 20ms 동안 가스차단문의 전면부에 가해지도록 하였다.

압력은 두 번에 걸쳐 각각 0.14MPa의 값으로 가해지며 실제의 폭발압력저항 시험에서는 1차 가압 이후 충분한 시간 간격을 두고 2차 가압까지 마친 뒤 영구적 변형량 확인을 통해 방폭 성능 및 합격 여부를 판단한다. 이를 해석에 적용하기 위해서는 1차 가압 이후 가스차단문의 전면부가 x축 방향의 앞·뒤로 운동하며 측정되는 변화 값이 시간이 지남에 따라 일정 수준에 수렴하였을 때 2차 가압이 진행되도록 하는 것이 정확한 해석 결과를 도출해내는 데 중요하다. 해석에 적용될 압력 설정값을 시간에 따른 압력변화 그래프로 나

Table 3. Property of material

| | Carbon Structure Steel |
|---------------------------|-------------------------|
| Density | 7,805 kg/m ³ |
| Ultimate tensile strength | 400 - 550 MPa |
| Yield strength | 250 MPa |
| Elastic modulus | 200 GPa |
| Tangent modulus | 1,450 MPa |
| Poisson's ratio | 0.26 |

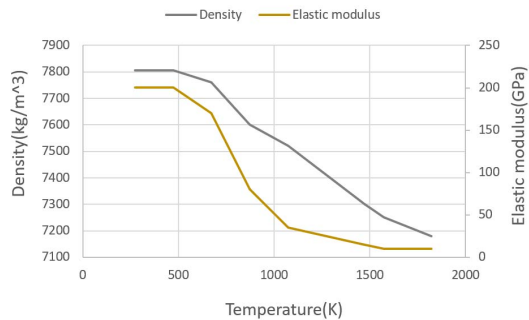


Fig. 5. Graph of changes in physical properties according to temperature.

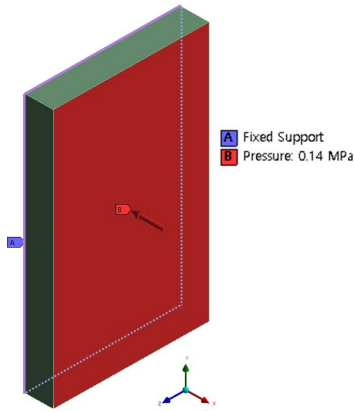


Fig. 6. Boundary condition.

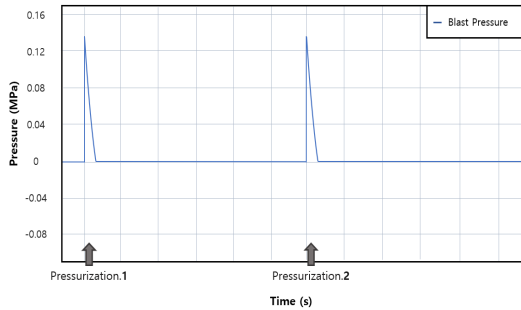


Fig. 7. The graph of blast pressure.

타내면 Fig. 7과 같다.

폭발압력저항성능평가 해석을 진행하기에 앞서 2차 가압 시기의 적절성 여부를 판단하기 위해 가스차단문 전면부의 중앙에 시간에 따른 x축 변화 값 측정이 가능한 Deformation probe를 설정하였다. 이후 1차 가압과 2차 가압 사이의 시간 간격을 6초부터 1초씩 점차 늘려가며 2차 가압 직후의 일시적 최대 변형량이 일정값으로 수렴하는 구간을 확인했다. 그 결과 Fig. 8의 결과가 도출되었으며 시간 간격의 차이에 따른 일시적 최대 변형량의 측정값을 나타낸 8초까지는 1mm 이상의 오차를 보이지만 9초 이후에는 9.5mm의 수준으로 변형 값이 거의 일치함을 나타내었다.

이는 가스차단문의 x축 방향 운동이 거의 일어나지 않는 9초 이후의 시점에서 2차 가압이 발생하여도 1차 가압 이후의 운동 상태가 결과에 큰 영향을 주지 않음을 의미한다. 본 연구에서는 해석 소요 시간을 고려하여 간격을 10초로 설정했다.

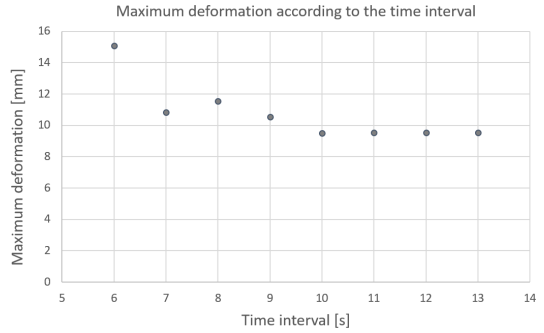


Fig. 8. Maximum deformation according to the time interval

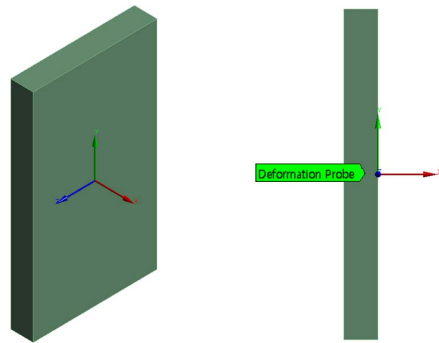


Fig. 9. The setting of deformation probe

3.3. 수치해석 결과 및 평가

Deformation probe를 통해 측정된 가스차단문 전면부의 변형 거동을 Fig. 10에 시간에 따른 변화량 그래프로 나타내었으며 Fig. 11에는 가스차단문의 전면부 중앙 측에 변형이 집중적으로 발생했음을 알 수 있는 변형량 등고선을 나타내었다.

2차 가압 후 일시적 최대 변형량은 -9.5048mm의 값이 도출되었고 시간이 지남에 따라 가스차단문에 발생한 탄성변형 측정값이 감쇠 효과(Damping effect)를 나타내며 x축 방향의 -3mm로 수렴한다. 이를 통해 Table 1에 나타낸 합격 기준($X \leq \pm 2\text{mm}$) 대비 약 1mm 이상의 변형이 더 발생하였음을 확인하였다.

이후 합격 기준을 만족하는 철판의 두께를 확인하기 위해 해석모델의 두께를 0.5mm씩 높히가며 추가 해석을 진행한 결과 두꺼워질수록 일정 변형 값에 수렴하는 시간이 빨라지고 정확한 변형 그래프 해석이 가능했으며 7.85mm의 두께에서 영구적 변형량이 -1.5mm로 수렴하는 것을 확인하였다. Fig. 12와 Fig. 13에는 시간에 따라 문에 발생한 응력변화 그래프와

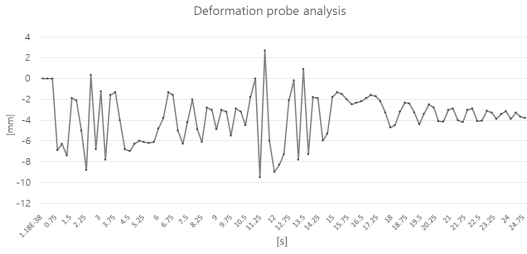


Fig. 10. The graph of deformation probe

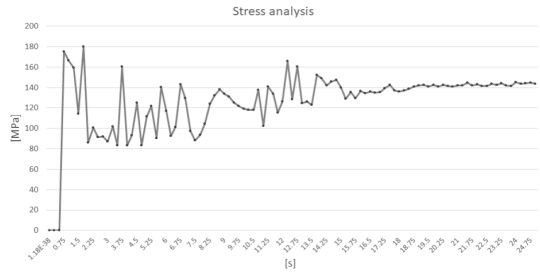


Fig. 12. The graph of stress analysis

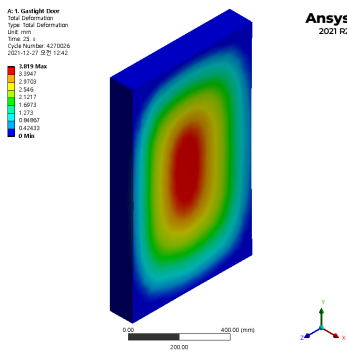


Fig. 11. Permanent deformation of gastight door

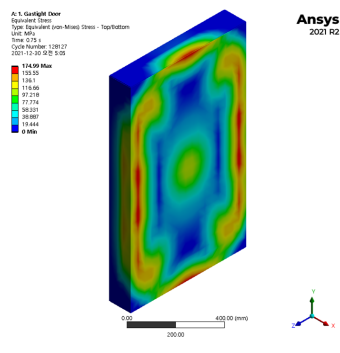


Fig. 13. Stress analysis of gastight door(0.75s)

가압 이후 최대 응력이 발생하는 시점을 나타내었다. 폭발압력으로 인해 변형이 발생한 가스차단문의 최대 발생 응력 측정값이 179.8MPa(0.75s)로 나타났으며 재료의 항복응력인 250MPa를 넘지 않았으나 Fig. 10의 그래프의 가스차단문의 변형량 측정값 그래프가 x축 방향의 -3mm로 수렴한다. 이는 폭발압력을 받은 가스차단문에 일시적 최대 변형이 발생한 이후 x축 방향의 운동을 반복하는 과정에서 탄성 회복이 완전히 이루어지지 않아 항복응력을 넘지 않고도 영구적 변형이 일어난 것으로 판단된다.

Fig. 14는 25s에서 변형이 가장 크게 발생한 곳을 중심으로 응력값이 높게 분포함을 나타낸다. 추가적으로 가스차단문의 방호 수준을 파악하기 위해 해석 결과를 통해 얻은 값으로 회전연성도 계산과 변위연성도 계산을 진행했다. 회전연성도의 경우 2차 가압 이후의 일시적 최대 변형량을 절대값으로 바꾸어 식(1)에 대입한 후 계산한 결과 0.95°의 값이 도출되었으며 이는 폭발압력 발생 시 최대 피해 정도가 미세균열에 그치는 ‘탄성 설계등급’의 방호 수준으로 판단되었다. 변위연성도는 항복응력 이상의 응력이 가스차단문에

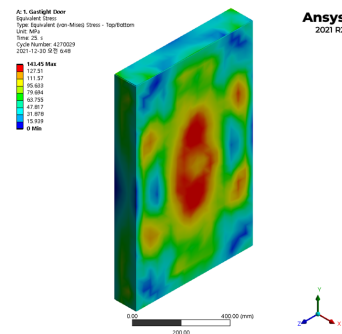


Fig. 14. Stress analysis of gastight door(25s)

발생하여 소성변형 및 구조 안전성에 문제가 발생하는지를 평가하기 위한 것이나 본 연구의 가스차단문에 발생한 변형은 소성변형이 아닌 탄성 영역에서의 변형이기 때문에 변위연성도 계산을 통한 평가 방법은 적절하지 않다고 판단된다.

IV. 결론

본 연구는 수치해석을 활용한 폭발압력저항성능 평가를 통해 가스차단문의 영구적 변형량을 비교하고, 회전연성도·변위연성도 계산을 통한 평가 방법을 함께 고려하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 미국재료시험협회(ASTM)에서 제시하는 가스 차단문의 해석모델은 0.14MPa, 20ms의 시험 조건에서 국내의 합격 기준인 영구적 변형값($\pm 2\text{mm}$) 대비 영구적 변형량이 약 1mm 더 발생하였으나 이는 보수적인 설계를 위해 폭발 하중의 압력을 입사압과 반사압의 합으로 계산하고 해석에 적용하여 얻은 결과이다. 실제 시험을 모사한 수치해석의 경우 반사압의 50% (약 0.07MPa)만을 적용하며 내압력을 보완하기 위해 내부에 보강재를 채워 넣을 경우 최대 처짐이 발생한 중심부의 변형량을 줄일 수 있기 때문에 국내의 합격 기준을 만족할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 가스차단문의 영구적 변형은 소성 영역에서의 변형이 아닌 탄성 영역에서의 변형이다. 수치해석을 통한 탄성변형의 정확한 값을 파악하기 위해서는 최소 9초 이상의 시간 간격을 두고 2차 가압을 진행해야 하며 해석 시간이 길어질수록 일정한 값으로 완전히 수렴하여 정확한 영구적 변형량을 도출해낼 수 있을 것으로 판단된다.

(3) 회전연성도·변위연성도 계산을 통한 방폭성능 평가 방법은 회전연성도의 경우 방호수준을 평가하는 것이 가능하다. 하지만 본 해석모델에 발생한 변형의 경우 소성변형이 아닌 탄성 영역에서의 변형이기 때문에 변위연성도 계산을 통한 평가 방법은 적절하지 않다고 판단된다.

REFERENCES

- [1] Shin. S. H., "Research on International Explosion-proof Structure Certification Standard Analysis and Case Study of Application", *The Korean Institute of Gas*, 147-147(2019)
- [2] Kim. E. S., "Performance Evaluation on Protective Barrier of Gas Storage Room using Experiment and Computational Numerical Analysis", *The Korean Institute of Gas*, 36-37(2019)
- [3] Shim. K. B., Lee. T. S., "Design of Frame Type Blast Door Reflecting Explosion Proof Test", *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 32(2), 67-74(2020)
- [4] Kim. N. H., Park. K. J., Lee. K. O., "A Study On Structural Stability Of Blast Door by Blast Pressure", *Journal of Korean Society of Safety*, 31(3), 8-15(2016)
- [5] Shin. H. S., Kim. S. W., Moon. J. H., Kim. W. W., "FE Analysis on the Structural Behavior of a Double-Leaf Blast-Resistant Door According to the Support Conditions", *Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 33(5), 339-349(2020)
- [6] Cha, S. C., "Explosion Proofing Engineering Design for Gas Facilities Based on IEC 60079-10", *The Korean Institute of Gas*, 25-25(2012)
- [7] Kim, T. D., Kim, J. H., "Performance Evaluation of a Blast Resistant Door under Blast Loading", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 44(6), 399-404(2020)
- [8] Lee. J. C., Park. Y. J., Kim. G. S., Lim. T. S., Park. Y. G., "A Basic Study on Upgrading of the Evaluation Factors of the Protective Capacity in Military Protective Facilities", *Journal of The Architectural Institute of Korea Planning & Design*, 22(1), 31-38(2006)
- [9] Shin. H. S., Kim. S. W., Moon. J. H., Kim. W. W., Hong, W. H., "Failure Behavior Analysis of Single-leaf Blast-resistant Door by Explosion Loads", *Korean Society of Hazard Mitigation*, 20(4), 195-206
- [10] Ministry of National Defense, A Study on Protective Criteria for the Important Military Facilities, (2012)